2. Como se afirmó en el numeral 5.1, la humedad atmosférica es apenas uno de los factores involucrados en la ocurrencia de lluvias. Recordemos los mecanismos para que se forme precipitación:

- mecanismo de ascensión de masas de aire y expansión para su enfriamiento.
- mecanismo de condensación de vapor.
- mecanismo de crecimiento de la gota de agua.
- mecanismo de acumulación de humedad.

Se afirma, que el contenido de vapor en el aire encima de los desiertos, puede ser superior al que se ha detectado sobre bosques tropicales. Sin las condiciones favorables anotadas arriba no ocurre lluvia.

3. A escala regional, la influencia del bosque sobre la precipitación es aún más complicada, para confirmar. En regiones tropicales, la microcirculación es un factor importante. La contribución de la evaporación en la precipitación, para una misma área es pequeña, y se considera que varía de 6 a 27% para cuencas que tienen áreas de 10^5 a 10^7 km^2, volviéndose casi nula para cuencas con área inferior a 10^3 km^2 (Lee, 1980).

A microescala, el bosque desempeña un papel importante en la distribución de la energía y del agua en la superficie, afectando localmente la distribución de la lluvia por el proceso de interceptación, además de su efecto en la infiltración, escurrimiento superficial y erosión.

Un lugar con bosque puede disminuír la precipitación que llega al suelo por el proceso de interceptación, o también puede aumentar el agua que llega al suelo, en determinadas áreas,a través del mecanismo de captación de neblina (también llamado precipitación oculta).

Cuando se hace tala rasa de un área con bosque,el efecto inmediato sobre la transpiración es significativo, así como ocurre, también, modificación en el microclima del área cortada.

En suma, algunos investigadores han recalcado, que no hay ninguna razón para esperar que la atmósfera superior se vea afectada, o sea, que la tala de una área con bosque deba afectar los procesos atmosféricos de condensación de vapor y de formación de lluvia.

4. Respecto a el efecto del viento en el proceso de medición de la lluvia y la participación de estos efectos en los resultados experimentales que mostraron mayor cantidad de lluvias en áreas con bosque en relación con áreas abiertas, como los del experimento de Hursh: se sabe que la precipitación no se presenta uniformemente distribuída en un área, inclusive en áreas relativamente pequeñas. Por tanto es prácticamente imposible medir la precipitación simultáneamente en dos áreas. El error normalmente asociado a la mejor técnica disponible de medición está cerca de 5% o más (Véase Tabla 23).

La velocidad del viento, además de ésto, es el factor crítico en la precisión con la cual el pluviómetro capta las gotas de lluvia, captación ésta que disminuye con el aumento de la velocidad del viento. De esta manera, teniendo en cuenta la disminución de la velocidad del viento causada por el bosque, un instrumento colocado en un área reforestada debe captar más que otro instrumento colocado en un área adyacente abierta. Entonces la diferencia de más observada en bosque, de esta forma, es meramente circunstancial.

La idea de que el bosque, por su mayor transpiración, tiende a aumentar la precipitación local, fue abandonada por la mayoría de los estudiosos (segunda línea de creencia).

El mismo Rakhmanov (1966), dice que no es que niegue el hecho de que la transpiración del bosque participe de la humedad de la atmósfera, sino que la cantidad de vapor liberado por la transpiración de bosques no es diferente de aquella liberada por otros tipos de terreno, o sea, los bosques no liberan una cantidad adicional de humedad suficientemente diferente para soportar su reputación como "humedecedores", en comparación con las áreas no forestadas. Entonces no se debe considerar el bosque como acelerador del reciclaje de las lluvias.

Hewlett, 1967, citado por Lima (1986), resumiendo los trabajos discutidos sobre estos tópicos en el Simposio Internacional sobre Hidrología Forestal, en 1965, Estados Unidos, afirma, que es de interés la discusión en lo que respecta al papel de los bosques como redistribuídores

de las lluvias. Un estudio sobre este asunto debe incluír:

- el efecto del bosque sobre la precipitación,
- el efecto del bosque sobre la medición, redistribución, interceptación y almacenamiento de la precipitación.

En cuanto al primer tópico, ya se discutió ampliamente. Los investigadores participantes al Simposio, concordaron con las conclusiones de Penman, publicadas en 1963, que en ausencia de datos convincentes se debe aceptar que la sola presencia del bosque no afecta necesariamente la precipitación sobre el área.

Una excepción, la constituye la "precipitación oculta", o sea, la captación de neblina, y la condensación de rocío que resbala de las hojas y de las ramas, contribuyendo a la humedad del suelo, y la escorrentía. Esta influencia es limitada a zonas de alta montaña y ciertas regiones costeras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

CANO, G.R. 1967. Fundamentos de hidrología. Universidad Nacional, Medellín.

EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN. 1981. Monografía del río Medellín. Rta. Emp. P. Medellín. Vol. 3. No. 3-4. p. 75.

FAO. 1962. La influencia de los montes. Estudios de Silvicultura y productos forestales. No. 15. Roma. 311p.

FRERE, M. et al. 1975. Estudio Agroclimático de la zona andina. Proyecto FAO/UNESCO/OMM. Roma. pp. 81-120.

HEWLETT, J.D. 1967. Summary of forests and precipitation session: In: International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon Press, N.Y. pp. 241-243.

HEWLETT, J.D. and NUTTER, W.L. 1969. An outline of forest hydrology. University of Georgia Press. 137p.

HEWLETT, J.D. 1982. Principles of Forest Hidrology. The University of Georgia Press. 178p.

HURSH, C.R. 1948. Local climate in the copper basin of tennesse as modified by the removal of vegetation. USDA. Circular 774. 38p.

IGAC, 1971. Estudio Hidroclimático de la región del Caribe. Bogotá. 77p.

LEE, R. 1980. Forest Hydrology. Columbia University Press. N.Y. 349p.

LIMA, W.P. 1986. Principios de hidrología florestal para o manejo de Bacias hidrográficas. ESALQ. Univ. Sao Paulo. Piracicaba. 242p.

LINSLEY, R.K. et al. 1982. Hidrología para Ingenieros. Mc Graw-Hill. 357p.

MOLCHANOV, A.A. 1963. Hidrología Forestal. Trad. de la versión inglesa. Fund. Calouste Gulbenkian. 419p. Lisboa.

NACIONES UNIDAS/OMM/PAISES CENTROAMERICANOS. 1977. Estudios Hidrológicos. Manual de Instrucciones. Publicación No. 140. Managua, Nicaragua. 503p.

OMETTO, J.C. 1981. Bioclimatología Vegetal. Ed. Agronómica Ceres Ltda. Sao Paulo, Brasil. 440p.

OSTER, R. 1979. Las precipitaciones en Colombia. Colombia Geográfica. IGAC. Bol. VI. No. 2. 144p.

PAEZ, Q. Edison y BARREIRO, Héctor D. 1986. Análisis del régimen de lluvias de la estación experimental El Espinal "Centro Cotové". Tesis. Universidad Nacional Medellín. 67p.

RAKHMANOV, V.V. 1966. Role of forest in water conservation. Translation From Russian, Israel Program for scientific traslations. 192p.

REMENIERAS, G. 1971. Tratado de Hidrología Aplicada. Edit. Técnicos Asociados. Barcelona, España. 514p.

VIESSMAN, et al. 1977. Introduction to hidrology. 2a. Ed. Harper y Row Publishers. N.Y. 697p.

CAPITULO 6

DISTRIBUCION DE LA PRECIPITACION A TRAVES DEL BOSQUE

6.1 PROCESO DE INTERCEPTACION. DEFINICION DE VARIABLES.

La influencia del bosque, tanto en el recibimiento como en la distribución de las lluvias, representa importancia significativa dentro del contexto del balance hídrico de un determinado lugar. Los diferentes estudios han concluído que por la interceptación, la cobertura forestal causa una disminución del agua que llega al suelo, hasta valores cercanos al 25% de la precipitación anual. En la Figura 55, Lima (1986), presenta un esquema que permite visualizar la interrelación entre los procesos de recepción y redistribución de las lluvias sobre un ecosistema forestal.

Los procesos involucrados, como se ilustran en la Figura 55, fueron definidos por Helvey y Patric (1965a) en la siguiente forma: (consultar también la terminología usada en la literatura americana en Zinke, 1967).

Interceptación (I): es el proceso por el cual el agua lluvia es retenida temporalmente por las copas de los árboles, y redistribuída posteriormente en: a) agua que llega al suelo; b) agua que escurre por

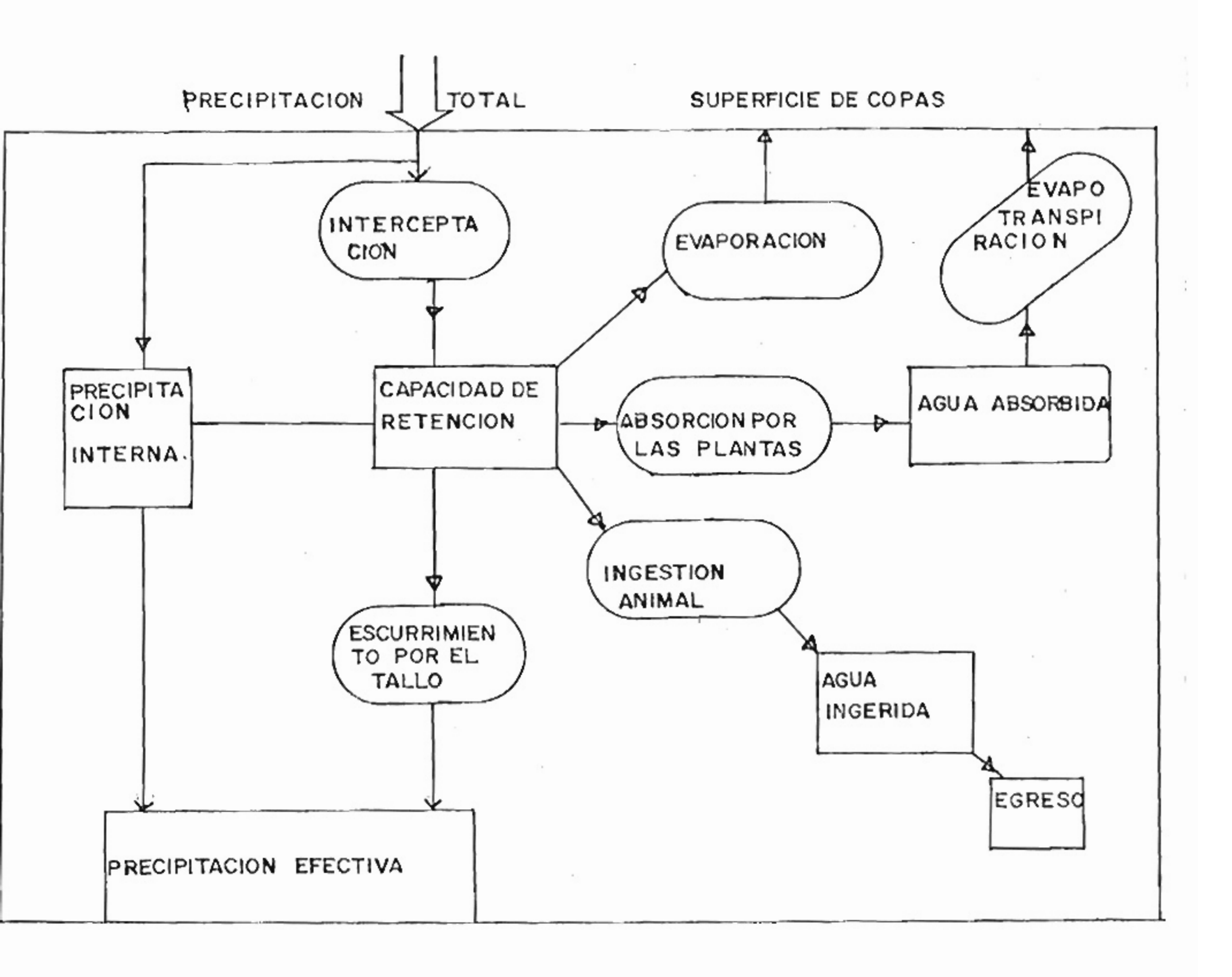


FIGURA 55. Modelo de Interceptación (Adaptada de Lima, 1986).

el tallo; c) agua que vuelve a la atmósfera por evaporación.

Este proceso había sido definido por Horton, 1919, citado por Zinke (1967), refiriéndose a las pérdidas por interceptación total, como la capacidad de almacenamiento de agua por las hojas más las pérdidas por evaporación durante la lluvia:

$$I = \int_{0}^{t} E \; dt + S \qquad (111)$$

Donde:

1 = pérdidas por interceptación total

E = tasa de evaporación del agua interceptada, durante la lluvia

S = capacidad de almacenamiento del dosel

t = duración del agucero

Precipitación (P): cantidad total de lluvia que es medida a campo abierto, o encima de las copas de los árboles.

Precipitación Interna (PI): lluvia que llega al suelo forestal, incluyendo las gotas que pasan directamente por las aberturas que existen entre las copas.

Escurrimiento por el tallo (Et): agua lluvia que, después de ser captada por el dosel llega al suelo mineral o al "litter" (hojarasca), escurriendo por el tronco de los árboles.

Precipitación o lluvia que efectivamente llega al suelo forestal:

PE = PI + Et

El proceso teórico de la interceptación se puede ver en la Figura 56 tal como lo presenta Leonard (1965). El área bajo la curva A-B representa la componente interceptación. Al inicio de una lluvia dada, la evaporación (del agua interceptada y que ocurre durante la lluvia) probablemente representa la componente principal del proceso de

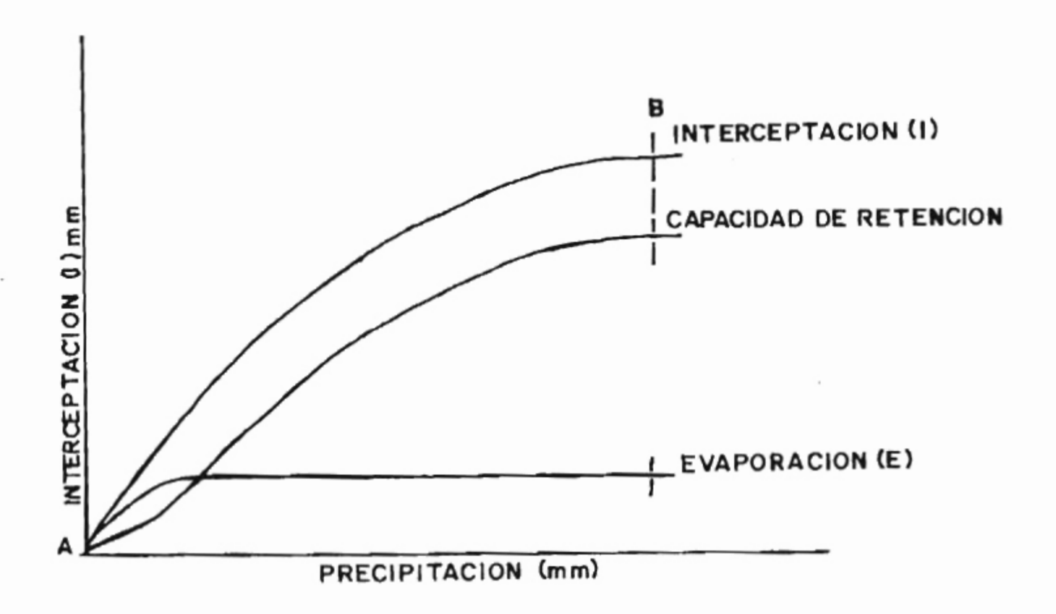


FIGURA 56. Curvas hipotéticas de interceptación: evaporación y capacidad de retención por el dosel durante los períodos de precipitación (Adaptada de Leonard, 1965).

interceptación. A medida que la lluvia continúa, las condiciones de temperatura, de gradiente de presión de vapor, y disponibilidad de energía en la región de las copas se modifican de tal forma que disminuye la evaporación.

En el punto B, la capacidad de retención o almacenamiento llega a su punto máximo, y si la lluvia continúa, la interceptación podrá continuar al ocurrir un poco de evaporación.

Volviendo sobre el modelo de la Figura 55, la componente evaporación representa las pérdidas y se refiere a la llamada "pérdida por

interceptación". En este sentido, engloba tanto a la evaporación que ocurre, mientras dura la lluvia, como a la evaporación del agua almacenada en las copas después del fin de la lluvia. Las pérdidas por interceptación no dependen exclusivamente de la capacidad de almacenamiento puesto que el agua retenida temporalmente en las copas sufre pérdidas por evaporación también durante la duración de la lluvia, resultando un total de pérdidas superior a la capacidad de retención (Véase Figura 56).

Además, si hay ocurrencia de viento durante y después de la lluvia, ésto va a afectar la capacidad de almacenamiento, la evaporación del agua interceptada, afectando también las pérdidas por interceptación.

Varios autores coinciden en afirmar que el viento aumenta la pérdida por interceptación para lluvias prolongadas y las disminuye para lluvias de corta duración.

Las pérdidas totales por interceptación varían con el clima, y se debe estimar de acuerdo a las componentes de la Ecuación (111).

6.2 MEDICION DE LAS PERDIDAS POR INTERCEPTACION.

6.2.1 Modelo general.

Las pérdidas por interceptación no pueden medirse directamente, pero pueden estimarse por muestreos de precipitación total, precipitación interna, escurrimiento por el tallo, según la siguiente ecuación:

$$I = P - (PI + Et) \tag{112}$$

Donde:

I = pérdida por interceptación (mm)

P = precipitación incidente a campo abierto (mm)

PI = precipitación interna (mm)

Et = escurrimiento por el tallo (mm)

En la Figura 57 se pueden visualizar estos términos.

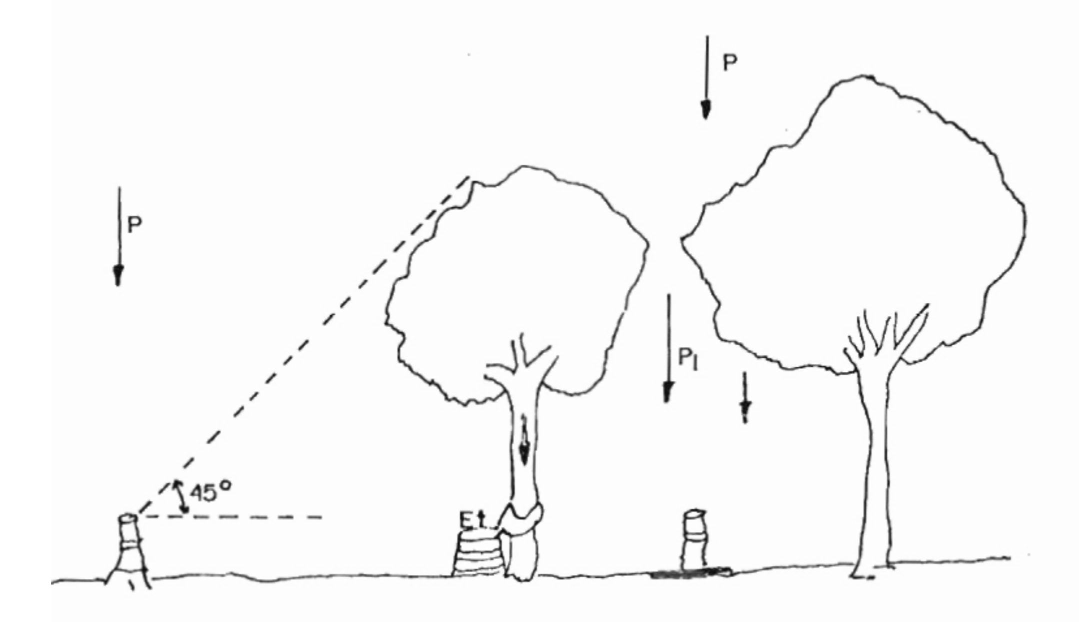


FIGURA 57. Esquema de la medición de interceptación.

Para las decisiones de muestreo en un experimento de este tipo se debe tener en cuenta:

a. La variabilidad de los parámetros.

Helvey y Patric (1965a.), en la Figura 58, presentan las curvas

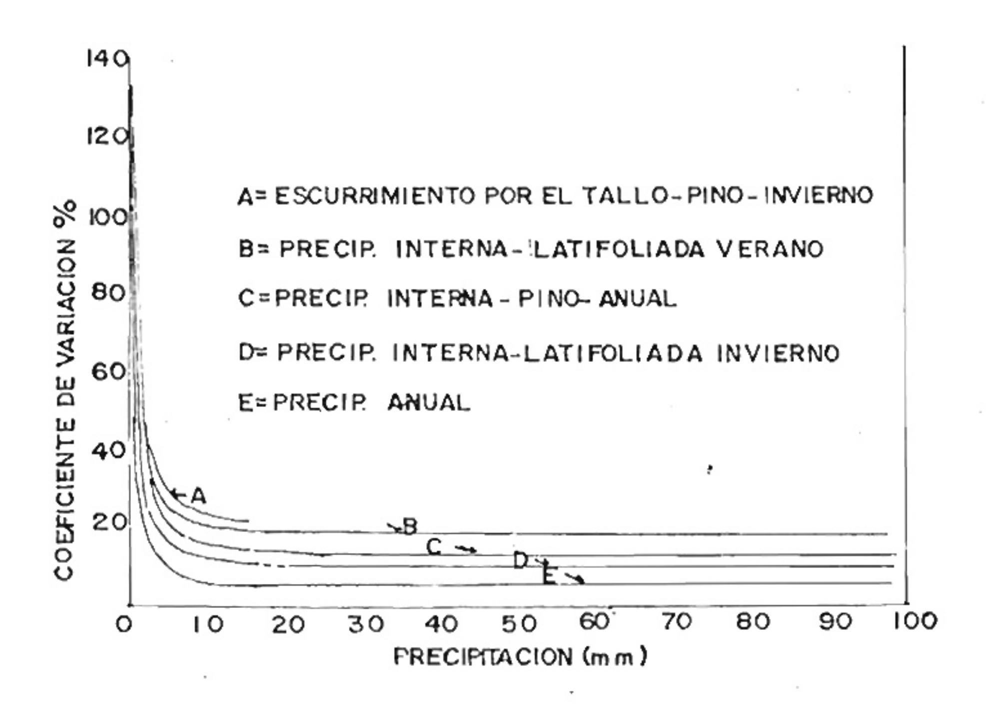


FIGURA 58. Relación del coeficiente de variación para seleccionar los parámetros de pérdidas por interceptación (Adaptada de Helvey y Patric, 1965a.).

obtenidas en diferentes estudios en el Este de los Estados Unidos, en las cuales se analizan los coeficientes de variación de los parámetros de la Ecuación (112). Se observa que la variación disminuye rápidamente con el aumento de la cantidad de lluvia hasta un valor aproximado de 10 mm. a partir del cual se mantienen estables.

b. Confiabilidad de las estimaciones.

Cada parámetro de las pérdidas por interceptación representa un problema diferente de muestreo y se debe estudiar el diseño para estimar el nivel de precisión deseado. Se debe tener en cuenta el costo en la determinación de los parámetros, como función de la exactitud y

precisión. La exactitud se refiere a la estimación de los valores verdaderos y la precisión, al acercamiento de las muestras a sus promedios. Un ejemplo ilustra la diferencia: varios pluviómetros ubicados bajo un árbol, pueden dar una estimación precisa de la lluvia interna en ese punto, pero una estimación inexacta para todo el bosque. La aleatorización de la muestra en el bosque mejora la estimación en precisión y exactitud de los factores de interceptación.

6.2.2 Precipitación total (P).

Para medir la precipitación incidente en un lugar se utilizan los pluviómetros o pluviógrafos. Helvey y Patric (1965a.), señalan que el éxito de los estudios de interceptación se apoya en muestras adecuadas de la lluvia incidente, la cual es una variable independiente, supuestamente medida sin error. Esto no es problema si el muestreo de P se hace con precisión, para lo cual se requieren pocos pluviómetros.

El número mínimo de pluviómetros se puede estimar utilizando la ecuación del error estandar:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{S^2}{n} (1 - n/N)} \qquad (113)$$

Como sea que "N" mucho mayor que "n" entonces: n/N tiende a "0".

$$\text{Luego:} \quad n = \frac{S^2}{(S\bar{x})^2} \qquad (114)$$

Donde:

n = número de pluviómetros necesarios

S^2 = varianza de la muestra

$(S_{\bar{x}})^2$ = varianza deseada de medias (con respecto a la P) o sea error standar

Muchos trabajos han demostrado que la precisión en la medición de la lluvia es inversamente proporcional al tamaño de la precipitación.

El error aceptable, debe estar basado en las diferentes clases de lluvia, así:

Cantidad de lluvia (mm)	Error aceptable (%)
0 - 12.5	10
12.5- 25	5
>25	2.5

Basado en gran número de trabajos se ha encontrado que para muestrear la P bastan de 2 a 4 pluviómetros adecuadamente protegidos en grandes claros cercanos al área de estudio.

En los bosques, a veces es difícil encontrar esos grandes claros, entonces un criterio práctico sería la instalación de los pluviómetros en lugares que permitan una visual de 45% desde el punto de ubicación del pluviómetro, sin encontrar obstáculos, como aparece en la Figura 57.

Si se encuentran sesgos en las estimaciones de la precipitación se deben usar factores de corrección.

6.2.3 Precipitación Interna (PI).

Con respecto a este parámetro, en la Figura 58 se observa que presenta la mayor variación. Por lo cual se requiere la utilización de un mayor número de pluviómetros, o pluviómetros que posean mayor área de captación, para su muestreo.

Dos alternativas se han probado:

1. Utilización de cajas o cubetas, cuyas dimensiones varían de 1 a 30 metros de longitud. Las cubetas pueden conducir a errores en la medición de la precipitación interna, debido a la salpicadura de las gotas de lluvia y a que tales aforadores son afectados por el viento y sus efectos aerodinámicos, siendo éste función de su dirección relativa (paralela o perpendicular) al eje mayor de la cubeta.

2. Utilización de interceptómetros (pluviómetros pequeños con diámetro que varía de 12 a 15 cm) distribuídos al azar y reubicados periódicamente dentro del bosque.

En cuanto al número de pluviómetros, Stein (1945), citado por Helvey y Patric (1965) utiliza el concepto del error de muestreo $S_{\bar{x}\ t}$ para determinarlo: